

ДЕГАЗАЦИЯ ПОЛИГОНОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ТКО: ПРОЕКТ НА ПОЛИГОНЕ ТКО «КУЧИНО»

*Ю. В. Завизион, к. т. н., Н. Н. Слюсарь, к. т. н.,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Ю. И. Пирогова, ООО «ЭКОКОМ»*

В России ежегодно образуется 55–60 млн т твердых коммунальных отходов (ТКО) [1], 96% из которых захоранивается на полигонах, санкционированных и нелегальных свалках. Одним из негативных последствий длительного захоронения отходов является образование биогаза, который стремятся обезвредить и утилизировать в том числе и в России, хотя у нас процесс внедрения предназначенных для этого систем идет медленнее. Рассмотрим проект системы дегазации, реализованный на полигоне ТКО «Кучино».

Количество специально обустроенных мест для захоронения отходов в России составляет около 1,4 тыс., что в разы меньше, чем санкционированных свалок (более 7 тыс.). Количество несанкционированных свалок захоронения отходов составляет более 17,5 тыс. [2]. Под полигоны и свалки захоронения отходов происходит ежегодное увеличение земельных площадей для захоронения.

Многие свалки и полигоны были открыты более 30 лет назад, значительная часть этих объектов вследствие отсутствия на них природоохранных сооружений не отвечает санитарным и экологическим нормам. Большинство объектов захоронения ТКО расположено вблизи населенных пунктов, на территориях водоохраных зон

поверхностных и подземных водных источников, а также на землях сельскохозяйственного назначения.

При длительном захоронении отходов протекают процессы их анаэробного разложения, сопровождающиеся образованием биогаза, являющегося источником загрязняющих веществ в компоненты окружающей среды на всех этапах жизненного цикла полигона [3, 4]. Объем образования и состав биогаза различных полигонов существенно отличаются в зависимости от объема и компонентного состава захороненных отходов, климатических условий района, конструкции основания и покрытия полигона, условий эксплуатации полигона, высоты складирования отходов, интенсивности процессов разложения и т. д.



По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, объекты захоронения ТКО в России ежегодно выбрасывают в атмосферный воздух 1,1 млн т биогаза, что составляет примерно 2,5% от планетарного потока [5].

Основными компонентами биогаза являются метан и диоксид углерода, их соотношение может меняться от 40–70% до 30–60% соответственно. В существенно меньших концентрациях присутствуют азот, кислород, водород, также в качестве микропримесей в состав биогаза могут входить десятки различных органических соединений [4, 6].

Потенциал глобального потепления метана обеспечивает приблизительно 3–4% ежегодных глобальных антропогенных выбросов парниковых газов [7]. Потенциал глобального потепления парниковых газов рассчитывается для определенной временной шкалы, обычно в 20, 100 или 500 лет в сравнении с эквивалентами диоксида углерода. В таблице представлен потенциал глобального потепления парниковых газов.

В пятом докладе об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата представленная продолжительность воздействия метана составляет 12 лет, потенциал глобального потепления составляет 72 в течение 20 лет и 25 в течение 100 лет. Следовательно, при изменении временной шкалы с 20 до 100 лет потенциал глобального потепления для метана уменьшается примерно в 2,9 раза [8].

Распространение биогаза и неприятного запаха от полигонов захоронения ТКО происходит на большие расстояния. Вызываемые биогазом полигона нагрузки от запаха обусловлены наличием примесей таких компонентов, как сероводород, органические соединения серы (меркаптаны), различные эфиры, алкинбензолы и др. Неконтролируемая эмиссия биогаза на полигонах и свалках приводит к возникновению пожаров и увеличению риска взрывов. Возникает необходимость проведения дегазации массива полигона, позволяющая снизить риск возгорания отходов, неприятных запахов, эмиссии парниковых газов. Основным методом, обеспечивающим решение этой задачи, является технология сбора, обезвреживания и утилизации биогаза.

Эмиссия биогаза является важным параметром для расчета прогнозных моделей изменения климата, так как при поступлении биогаза в природную среду формируются негативные эффекты как локального, так и глобального характера [9].

Биогаз, образуемый на полигонах захоронения ТКО, обладает высоким энергетическим потенциалом. Перспектива использования биогаза полигонов в энергетических целях как возобновляемого ресурса весьма привлекательна, так как позволяет одновременно решать актуальные проблемы загрязнения окружающей среды урбанизированных территорий.

Теплота сгорания биогаза составляет от 21 до 27,2 МДж/м³ [6]. По теплоте сгорания 1 м³ биогаза эквивалентен 0,8 м³ природного газа, 0,7 кг мазута или 1,5 кг дров. По нормативам ЕС считается, что сжигание биогаза в качестве источника энергии не увеличивает количе-

Потенциал глобального потепления парниковых газов [8]

Наименование газа	Продолжительность воздействия, лет	Потенциал глобального потепления по временной шкале		
		20 лет	100 лет	500 лет
Диоксид углерода (CO ₂)	30–95	1	1	1
Метан (CH ₄)	12	72	25	7,6

ство атмосферного углекислого газа, т. е. биогаз является безвредным энергоносителем. Теоретический энергетический потенциал биогаза при объемном содержании метана 50% составляет 5 кВт × ч/м³ [9]. Рекуперация энергии биогаза, как правило, происходит с одновременной выработкой тепла и энергии (ТЭЦ) и целесообразна при содержании в биогазе не менее 40% метана и расходе не меньше 50 м³/ч [10]. Если эти величины не достигаются, то более рациональны технологии сжигания биогаза без использования выделяемой энергии.

В большинстве развитых стран этот процесс стимулируется государством: приняты законы об использовании биогаза свалок в энергетических целях. Во многих странах Европы и США существуют законы, обязывающие потребителей покупать альтернативную энергию. Нормативно определена стоимость такого вида энергии, которая, как правило, в 2–2,5 раза выше стоимости энергии, произведенной на основе традиционных энергоносителей (природный газ, нефтепродукты и пр.).

Глобальная утилизация биогаза составляет около 1,2 млрд м³/год, что эквивалентно 429 тыс. т метана, или 1% его глобальной эмиссии [11]. Таким образом, объем утилизируемого биогаза мал по сравнению с объемом его образования.

В мировой практике известны следующие способы обезвреживания/утилизации биогаза [12]:

- сжигание биогаза в высокотемпературном факельном устройстве закрытого типа, направленное на уничтожение и ликвидацию биогаза в целях снижения экологической нагрузки и опасности возгорания полигонов;

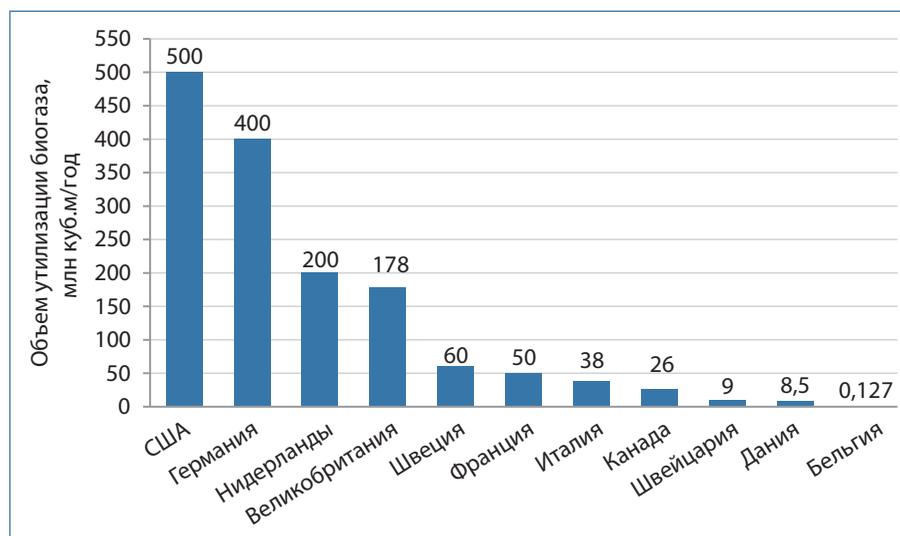


Рис. 1. Объем ежегодной утилизации биогаза в странах мира [4]

- сжигание биогаза для производства тепловой энергии;
- утилизация очищенного биогаза для дальнейшего использования в установках генерации электрической и тепловой энергии;
- утилизация очищенного биогаза для дальнейшего использования в качестве газомоторного топлива;
- доведение содержания метана в биогазе (обогащение) до 94–95% с последующим его использованием в газовых сетях общего назначения;
- сжижение биогаза для получения жидкого топлива.

В значительных объемах биогаз добывается и утилизируется в ряде развитых западных стран. К их числу относятся США, Германия, Нидерланды, Великобритания, Франция, Италия, Швеция. На рис. 1 представлен ежегодный объем утилизации биогаза в странах мира.

Лидером по объемам газодобычи является США, в стране собирается до 500 млн м³/год. В Германии с полигонов утилизируется до 400 млн м³ биогаза в год, в Великобритании – до 200 млн м³ [4].



По состоянию на февраль 2019 г. в США насчитывается 619 действующих энергетических проектов в сфере утилизации биогаза в 49 штатах [13]. В Германии биогаз используется на 98 полигонах, основными направлениями его использования являются прямое сжигание (28%) и выработка электроэнергии (46%). Во Франции эксплуатируется 9 установок на биогазе, при коммерческом использовании всего потенциала биогаза он способен обеспечить 0,1% общего энергопотребления страны. Согласно законодательству Италии извлечение биогаза является обязательным. В Нидерландах добыча биогаза внесена в национальную программу по отходам и программу по энергосбережению.

На полигоне Гаоантун (Китай) создана система активной дегазации со 150 скважинами, позволяющая производить электроэнергию в электрогенераторах общей мощностью 2,5 МВт. В 2011 г. система позволила сократить выбросы парниковых газов на 37,1 тыс. CO₂ за счет

получения электричества и еще на 500 т CO₂ за счет непосредственного использования [14].

На полигоне Сау-Жуау (Бразилия) скорость образования биогаза составила около 11 555 м³/ч, для его сбора была создана система дегазации, действующая 160 скважин. Биогаз направлялся на построенную на территории полигона электростанцию общей мощностью 22,4 МВт. Для сжигания излишков биогаза комплекс оборудован тремя факельными установками. Всего в 2009 г. в результате сжигания биогаза и получения электроэнергии на данном объекте удалось сократить объем выбросов парниковых газов на 876 797 т CO₂ [14].

В настоящее время на российских полигонах и свалках биогаз практически не собирается (количество существующих проектов порядка 20). Одним из основных препятствий по широкому использованию биогаза в качестве топлива является низкая рентабельность таких установок, поскольку стоимость топлива существенно ниже, чем в западных странах. В России законодательная база, стимулирующая хозяйствующие субъекты выполнять работы по сбору и утилизации биогаза, находится на ранней стадии развития. Ее основу представляет Энергетическая стратегия развития России на период до 2030 г. Одной из ее приоритетных задач является увеличение доли энергии, вырабатываемой за счет использования возобновляемых источников [15].

В настоящее время в Москве и Московской области разработано несколько проектов по обезвреживанию биогаза, в том числе на таких полигонах, как «Икша-2» (Дмитровский р-н), «Ядрово», «Тимохово», «Лесная», «Алексинский карьер», «Кучино».

Устройство активной системы дегазации с использованием факельной установки реализовано в Хабаровске при рекультивации городской свалки отходов в отработанном карьере «Березовский».

На полигоне «Тимохово» (Ногинский район Московской области) было пробурено 30 газовых скважин глубиной больше 20 м, проложены сети трубопроводов, собирающие газ на 4 газосборных станциях, построена газокомпрессорная станция, подающая газ в высокотемпературную факельную установку закрытого типа высотой 10 м и диаметром более 1,4 м. Сжигание производится внутри камеры сгорания при температуре более +1000 °С.

Пилотный комплекс дегазации, состоящий из сети вертикальных и горизонтальных пластиковых газодренажных скважин трубчатого и рулонного типов, которые были уложены и внедрены в тело полигона, а сверху укрыты специальной геомембраной и песком, реализован на полигоне «Преображенка» в Самаре. Скапливающийся внутри массива отходов биогаз собирается с помощью компрессора, смешивается с воздухом и поступает в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания на генераторную установку переменного тока, где вырабатывается электроэнергия. Излишки биогаза сгорают в факеле.

В последние годы в России имеет место тенденция закрытия старых свалок и открытия новых полигонов, выполненных в соответствии с природоохранным

законодательством. В связи с этим целесообразно организовать извлечение биогаза на закрывающихся свалках и начать практику проектирования систем дегазации на новых полигонах [16].

Целью дегазации объектов захоронения отходов является исключение отрицательного воздействия биогаза на окружающую среду, в том числе снижение взрыво- и пожароопасности массива отходов, устранение залповых выбросов биогаза, снижение негативного воздействия на персонал, население и объекты окружающей среды, утилизация биогаза (при экономической целесообразности).

Выбор оптимального способа дегазации полигона является сложной задачей. Технологии дегазации существенно различаются по величине капитальных и текущих затрат, наличию блоков для утилизации биогаза (получение тепловой или электрической энергии), факельного хозяйства, устройств по рассеянию биогаза в атмосферный воздух. В связи с этим особенно важен строго дифференцированный подход к выбору способа и технологии дегазации полигона.

При дегазации объектов захоронения используют два основных метода:

- пассивная дегазация, производимая за счет собственного избыточного давления биогаза в толще свалки;
- активная дегазация, осуществляемая с помощью специальных устройств, создающих градиент давления.

Целесообразно применение пассивной дегазации для небольших полигонов, для старых свалок с невысоким уровнем выделения биогаза или для полигонов с высоким уровнем фильтрата. Пассивная дегазация может быть организована путем устройства вертикальных и горизонтальных траншей и газоотводящих колодцев или скважин.

Система активного сбора биогаза включает в себя устройства, создающие градиент давления (компрессоры, вентиляторы), экстракционные скважины и горизонтальную систему сбора биогаза. Система активной дегазации обязательно включает обезвреживание извлеченного газа (сжигание, очистку, сжижение и т. д.). Эффективность активной дегазации зависит от работы и конструкции систем сбора и обезвреживания/утилизации, а также от методов мониторинга и управления этими системами.

Для монтажа газовых скважин в теле эксплуатируемого/закрытого полигона обычно применяют вертикальное бурение. Возможно использование как обычного бурового оборудования, так и специализированной техники, позволяющей сооружать скважины большого диаметра. При бурении скважин в массиве захоронения отходов в российских условиях наиболее целесообразно использование шнекового бурения.

В общем виде выбор метода дегазации зависит от мощности полигона, морфологии отходов, возраста, этапа жизненного цикла, наличия элементов инженерной инфраструктуры, водного баланса, интенсивности протекания биохимических процессов, климатических особенностей региона и экономических возможностей владельца.

Сжигание биогаза на факельных установках является одним из основных методов обезвреживания биогаза на полигонах.

Факельные установки являются составной частью каждого варианта энергетической утилизации, для контроля выбросов биогаза во время запуска и простоя системы рекуперации энергии и контроля биогаза, который превышает мощность оборудования преобразования энергии. Прямое сжигание биогаза на факеле способно принести экологический и экономический эффект, так как происходит снижение выбросов биогаза, снижение выбросов парниковых газов, снижение экологических платежей. Факельные установки предназначены для временного или периодического сжигания биогаза при отсутствии возможности его полезного использования в качестве энергоносителя.

Открытое сжигание биогаза является наиболее простым методом обезвреживания/утилизации биогаза, который при определенных условиях уменьшает содержание метана на 98% [4]. Преимуществами открытого сжигания биогаза являются простота из-за отсутствия систем управления процессом горения, простота установки, экономическая целесообразность, возможность располагать открытое пламя как на уровне земли, так и на любой высоте. К недостаткам этого способа относятся отсутствие возможности управлять и следить за температурой, поступлением воздуха, контролировать параметры биогазового потока и непосредственно процесса горения, разделение продуктов горения.

Закрытое сжигание биогаза на факеле позволяет контролировать и воздушный поток, и поток биогаза. Поток биогаза выталкивается через пламя компрессором, а воздух нагнетается к пламени через специальные воздушные заслонки. Использование для сжигания специальных высокотемпературных факельных установок позволяет исключить образование диоксинов, фуранов и других опасных компонентов.

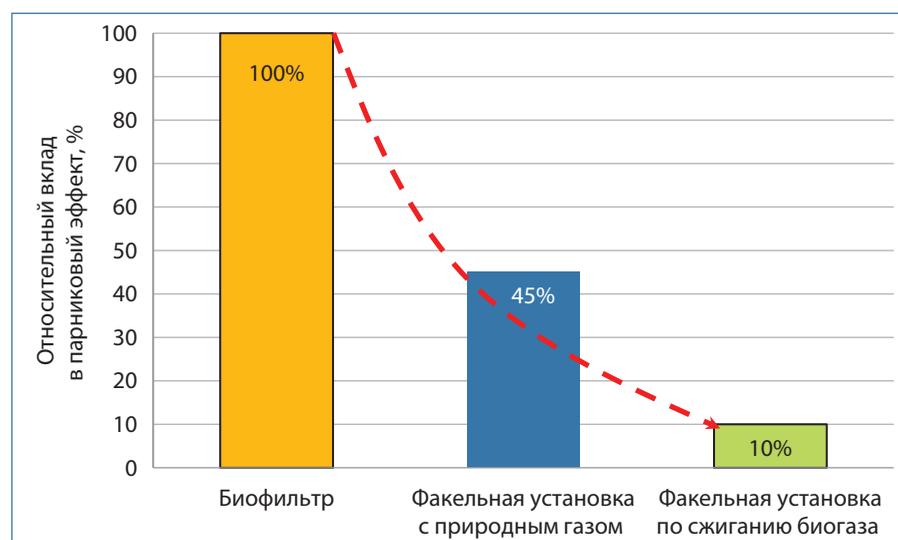


Рис. 2. Относительные показатели эмиссии парниковых газов, выделяемых в атмосферу биофильтрами, факельной установкой, использующей природный газ, и факельной установкой по сжиганию биогаза [17]



Рис. 3. Полигон ТКО «Кучино»

При сжигании биогаза в факеле должны выполняться следующие условия:

- температура горения выше $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (углеводороды становятся неустойчивыми и могут окисляться);
- сжигание производится при коэффициенте избытка воздуха более 1, для того чтобы все углеводороды могли полностью окисляться до углекислого газа и воды;
- время пребывания газов в указанных условиях в камере сжигания должно быть достаточным для полного протекания реакций окисления.

На рис. 2 графически представлены показатели эмиссии парниковых газов (CH_4 , CO_2) различных типов установок по обезвреживанию/утилизации биогаза полигонов.

Как видно из диаграммы, факельная установка по сжиганию биогаза полигонов захоронения отходов отличается наибольшей эффективностью и ее относительный вклад в парниковый эффект снижается на 10 %.



Рис. 4. Рекультивационные работы на полигоне ТКО «Кучино»

Любой способ утилизации биогаза, даже прямое сжигание биогаза на открытом факеле, способен принести экономический эффект за счет снижения экологических платежей за выброс метана (которые составляют до 90% платежей за загрязнение атмосферного воздуха) и снижения выбросов парниковых газов (в основном метана) в рамках Киотского протокола, ратифицированного Российской Федерацией.

Подготовка биогаза перед сжиганием в энергетических установках увеличивает затраты, однако необходима с технологической и экологической точек зрения: содержащиеся в биогазе сероводород, хлорированные и фторированные углеводороды и силоксаны могут приводить к повреждениям двигателей в результате коррозии и истирания, появлению неприятных запахов.

Прямое сжигание биогаза в количестве 1 млн м^3 в год дает снижение выбросов парниковых газов на 8,3 тыс. т в CO_2 -эквиваленте [14]. На рынке торговли квотами на выброс парниковых газов в рамках реализации механизмов Киотского протокола такое сокращение выбросов оценивается в 40 тыс. долларов.

Организация экономически выгодной утилизации биогаза осложняется тем, что после относительно кратковременного периода больших объемов образования метана наступает 20–30-летний период постепенного уменьшения его образования.

Одна из систем сбора, обезвреживания и утилизации биогаза в настоящее время реализована на полигоне ТКО «Кучино», в том числе эффективность сбора, использования биогаза и снижение негативного воздействия полигона на окружающую среду.

Полигон ТКО «Кучино» расположен на территории городского округа Балашиха Московской области. Срок эксплуатации объекта – с 1964 по 2017 г. Площадь полигона ТКО «Кучино» (рис. 3) в соответствии с земельным отводом составляет 54,5 га, высота насыпи отходов над естественным рельефом – 50–57 м, объем накопленных отходов составляет почти 25 млн т. В настоящее время, по оценкам специалистов ООО «ЭКОКОМ», объем образования биогаза на полигоне ТКО «Кучино» составляет около 5000,00 $\text{м}^3/\text{ч}$.

После закрытия полигона ведутся работы по рекультивации, включающие перекрытие верхней площадки насыпи отходов грунтами (суглинистые грунты, грунты от раскопа котлованов при строительстве), мощность которых составила около 1,5 м. В настоящее время проводятся работы по укладке георешеток, бентонитовых матов, геомембран (рис. 4). Работы по рекультивации продлятся до конца 2019 г.

После перекрытия полигона массива захоронения отходов грунтами была построена аварийная система активной дегазации, включающая 55 вертикальных газовых скважин (рис. 5), четыре газосборные станции, газокomp-прессорную установку и высокотемпературный факел. После ввода аварийной системы дегазации в эксплуатацию на факел поступало и обезвреживалось при температуре 1050–1100 $^{\circ}\text{C}$ до 2500 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ биогаза. Содержание метана в биогазе составляло 54–57 %. Система сбора, обезвреживания и утилизации биогаза на полигоне ТКО



Рис. 5. Нарастающая газовая скважина на рабочей карте полигона

«Кучино», разработанная компанией ООО «ЭКОКОМ», представлена на рис. 5–7.

Основная техническая концепция системы дегазации полигона ТКО «Кучино» (сбор и отведение биогаза) состоит в том, чтобы благодаря газокompрессорной станции откачать биогаз с полигона и направить его на блочную теплоэлектростанцию (БТЭС, 1063 кВт) для выработки тепло- и электроэнергии и на обезвреживание на высокотемпературную факельную установку (ВФУ) производительностью 5000 м³/ч. Газокompрессорная станция (ГКС) представляет собой отдельно стоящее некапитальное сооружение контейнерного типа в заводском исполнении, связанное единым технологическим процессом с факелом. Производительность ГКС соответствует ожидаемому максимальному объемному потоку откачки и обеспечивает желаемую степень сбора. Установка включает все механические и электрические части, необходимые для откачки, управления, контроля и обезвреживания. ГКС осуществляет постоянный отрегулированный сбор и транспортировку биогаза с полигона к факелу и на БТЭС. Основные компоненты ВФУ – это камера сгорания и дозирующий смеситель. Биогаз можно подавать на обезвреживание и утилизацию одновременно, т. е. на БТЭС и ВФУ.

Проектом предусматривается система активной дегазации, включающая 112 газовых скважин. Кроме высокотемпературного факела предусмотрена генерация электрической энергии мощностью 2 МВт·ч. Электроэнергия частично будет расходоваться на нужды полигона после рекультивации, избыток – передаваться районным службам.

Для очистки биогаза от органических соединений, соединений хлора и фтора, тяжелых металлов (ртуть и т. п.), окисей серы и кремния используется мокрая (скруббер) и сухая очистка (угольные фильтры). Перед очисткой газа угольным фильтром его необходимо

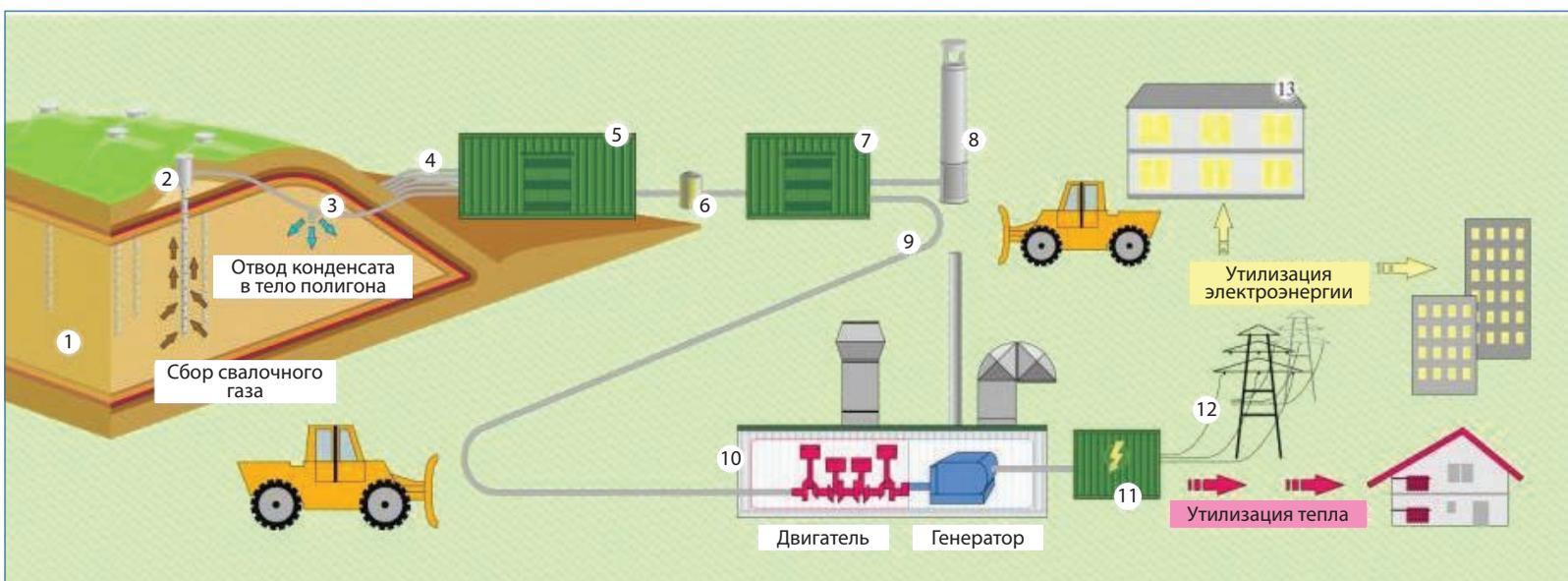


Рис. 6. Система сбора, обезвреживания и утилизации биогаза: 1 – массив полигона, 2 – газовая скважина, 3 – конденсатоотводчик, 4 – газосборная труба, 5 – газосборная станция, 6 – сборник конденсата, 7 – компрессорная станция, 8 – факельная установка, 9 – газовый трубопровод, 10 – БТЭС, 11 – ЛЭП, 13 – административное здание [18]



Рис. 7. Система осушки и очистки биогаза

осушить. На полигоне ТКО «Кучино» предусмотрена система осушки и очистки биогаза активированным углем, в частности 4 модуля (рис. 7), пропускная способность каждого из которых от 1250 м³/ч.

Для постоянного контроля за количеством и качеством добываемого и утилизируемого свалочного газа на факельной установке и БТЭС устанавливается система автоматизированного мониторинга, включающая следующие контрольно-измерительные приборы:

- расходомеры для измерения объемного потока газа, проходящего через систему;
- датчики давления и температуры для расчета массового расхода биогаза;
- стационарные газоанализаторы, которые фиксируют качество газа, подающегося в БТЭС и на факельную установку (система контроля газов);
- переносные газоанализаторы, контролирующие качество газа в трубопроводах, газовых скважинах;
- термопара, которая используется для мониторинга температуры пламени в факельной установке;
- система автоматической регистрации данных.

Факельная установка соответствует российским требованиям по выбросам полигонов в атмосферный воздух (Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ (ред. от 29.07.2018) «Об охране атмосферного воздуха»), а также требованиям Европейской директивы (Директива № 2008/50/ЕС «О качестве атмосферного воздуха и мерах его очистки») и позволяет обезвреживать биогаз с эффективностью не ниже 98–99%.

Внедрение системы дегазации на рекультивированном полигоне ТКО «Кучино» позволяет собрать и обезвредить весь образованный биогаз, тем самым снизить его отрицательное воздействие на окружающую среду и здоровье населения.

Система дегазации полигона (сбор и отведение биогаза) на полигоне ТКО «Кучино» направлена в первую очередь на снижение негативного воздействия объекта на окружающую среду, создание безопасной ситуации для населения (предотвращение образования взрывоопасных ситуаций в помещениях) и использование возобновляемых источников энергии. В постоянном режиме ведется еженедельный мониторинг выбросов загрязняющих веществ (СО, NO₂, SO₂, NO и др.) из факела в атмосферный воздух в границах близлежащих жилых районов. С момента запуска системы дегазации на полигоне ТКО «Кучино» превышения ПДК по загрязняющим веществам на границе СЗЗ не выявлены. На данный момент система дегазации не работает в полном объеме, так как идет рекультивация полигона.

Технология обезвреживания биогаза, установленная на полигоне ТКО «Кучино», также используется на эксплуатируемых полигонах Московской области: полигоне ТКО «Тимохово» (Ногинский район), полигоне ТКО «Лесная» (г. Серпухов), полигоне ТКО «Алексинский карьер» (г. Клин). ♻️

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
Правительства Пермского края
в рамках научных проектов № С-26/174.8.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа России «Охрана окружающей среды на 2012–2020 годы» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/81d/gosprogramma%202012_2020.pdf (дата обращения: 01.06.2019).
2. Мальшевский А. Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России [Электронный ресурс]. – URL: http://rpn.gov.ru/sites/all/files/users/rpnglavred/filebrowser/docs/doklad_po_tbo.pdf (дата обращения: 25.02.2019).
3. Ерошина Д. М., Ходин В. В., Зубрицкий В. С. [и др.]. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах. – Минск: Изд-во «Бел НИЦ "Экология"», 2010. – 152 с.
4. Управление отходами: сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов : монография / Я. И. Вайсман [и др.]: под ред. Я. И. Вайсмана. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 259 с.
5. United States Environmental Protection Agency, Landfill gas energy basics in: LFG Energy Project Development Handbook, US Environmental Protection Agency, Washington DC, June, 2017 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.epa.gov/lmop/landfill-gas-energy-project-development-handbook> (дата обращения: 09.06.2019).
6. Мы и когенерация [Электронный ресурс]: статья / 2G Bio-Energetechnik. – Электрон. журн. – 2009 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.2g.rusbusiness.com/index.php> (дата обращения: 07.06.2019).
7. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report

of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2015. 151 pp. – URL: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf. (дата обращения: 18.06.2019).

8. Quora: How is the GWP, as indicated on this chart, measured or calculated? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.quora.com/How-is-the-GWP-as-indicated-on-this-chart-measured-or-calculated> (дата обращения: 09.06.2019).

9. Свалочный газ [Электронный ресурс]: статья / Офиц. сайт некоммерческой организации «Углеродный фонд технологий и инвестиций». – Электрон. журн. – Углеродный фонд технологий и инвестиций, 2005. – URL: <http://cfti.ru/fond.htm> (дата обращения: 30.05.2019).

10. Кирсанова А. Ю., Филиппова Т. М. Энергетический потенциал «свалочного газа» на полигоне ТБО г. Ангарска // Вестник АГТА. – 2008. – Т. 2. – № 1. – С. 82–87.

11. Загорская Е. Добыча и утилизация свалочного газа для выработки электроэнергии и сокращения выбросов парниковых газов [Электронный ресурс]: презентация компании Green Light Energy Solutions. – URL: www.glesllc.com (дата обращения: 28.05.2019).

12. Колганов Д. Является ли утилизация свалочного газа рентабельным проектом CO₂? [Электронный ресурс]: статья / Метан на рынки. – Д. Колганов. – Электрон. журн. – Русдем-Энергоэффект, 2007–2010. – URL: <http://www.methanetomarkets.ru/goods/mater13/> (дата обращения: 09.06.2019).

13. Basic Information about Landfill Gas [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.epa.gov/ltop/basic-information-about-landfill-gas#methane> (дата обращения: 28.05.2019).

14. Municipal solid waste (MSW) management and treatment activities are sources of methane (CH₄) emissions worldwide [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.globalmethane.org/sectors/technicalgroup.aspx?s=msw> (дата обращения: 12.05.2019).

15. Садчиков А. В. Дезгазация полигонов твердых коммунальных отходов // FUNDAMENTAL RESEARCH. – 2017. – № 2. – С. 82–86.

16. Вострецов С. П. Оптимизация использования биогаза полигонов ТКО // Твердые бытовые отходы. – 2017. – № 9. – С. 42–45.

17. Проект рекультивации полигона ТБО «Кучино» на территории городского округа Балашиха Московской области. Москва, 2017 [Электронный ресурс]. – URL: <http://balashiha.ru/ecology/ecology/proekt-rekultivatsii-poligona-kuchino/>.

18. Кайзер О. Современные полигоны ТБО Проектирование, строительство, технологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://docplayer.ru/48989613-Sovremennye-poligony-tbo-proektirovanie-stroitelstvo-tehnologii.html> (дата обращения: 25.05.2019).



МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ



АЛЬФА-ЭТАЛОН

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ



Скидка 5% на весы по промокоду ТБО*

*Для получения скидки необходимо сообщить промокод нашему менеджеру при заказе оборудования. Скидка предоставляется на весы. Не oferta.

- Автомобильные весы Альфа АВ-А для измерения масс твердых бытовых отходов
- Весы выпускаются по ГОСТ OIML R-76-1-2011
- Фото- и видеофиксация
- Распознавание гос. номеров
- Дата и время проезда
- RFID идентификация ТС



**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОЦЕССА
ВЗВЕШИВАНИЯ**